

## Versuchsprotokolle: Mechanische Schwingungen

Lehrer: \_\_\_\_\_

Schule: \_\_\_\_\_

Kurs: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

Codes aller Gruppenmitglieder:

\_\_\_\_\_  
A B C D

\_\_\_\_\_  
A B C D

\_\_\_\_\_  
A B C D

A: erste zwei Buchstaben des Vornamens der Mutter (z.B.: Maria → MA)

B: erste zwei Buchstaben des Geburtsmonats (z.B.: Februar → FE)

C: erste zwei Buchstaben der Wohnstraße (z.B.: Hauptstraße → HA)

D: Anzahl der Buchstaben des ersten Vornamens (z.B.: Markus → 06)



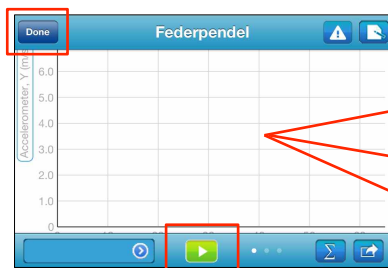
# Anleitung zu SPARKvue



Starten der App:  
Icon antippen



Auswahl des Experiments:  
Bezeichnung (nicht blauen  
Pfeil) antippen



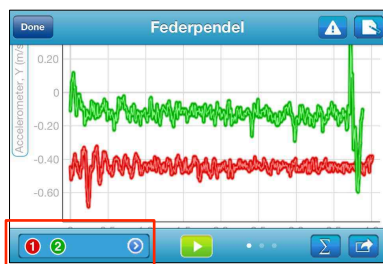
Messung starten:  
grünen Pfeil antippen  
Messung stoppen:  
roten Pfeil antippen

Blaue Balken ausblenden:  
Diagrammfläche doppelt  
antippen

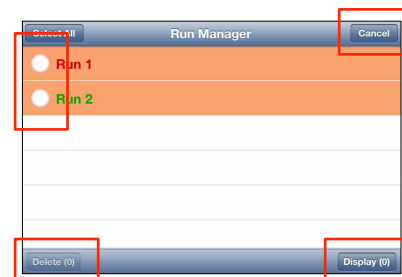
zum Zoomen Bild mit zwei  
Fingern größer ziehen

zum Verschieben Bild mit  
einem Finger ziehen

zurück zur Experimentaus-  
wahl mit „Done“



Run-Manager öffnen:  
Fläche unten links antippen



Messungen durch Antippen  
auswählen,  
löschen oder anzeigen:  
„Delete“ oder „Display“,  
zurück mit „Cancel“



# Vokabelliste zu SPARKvue



englisch	deutsch
accelerometer	Beschleunigungsmesser
cancel	abbrechen
delete	löschen
deselect all	alle abwählen
display	anzeigen
done	fertig
experiments	Experimente
run manager	Verwalter der Durchläufe (hier: der Messungen)
select all	alle auswählen
time	Zeit

# Experiment: Das Federpendel



Ein einfaches Kinderspielzeug: Eine Holzfigur hängt an einer Schraubenfeder. Zieht man an ihr, beginnt sie zu schwingen. Wie lange dauert eine Auf-und-ab-Bewegung? Kann man die Schwingung beschleunigen oder verlangsamen und wenn ja, wie?



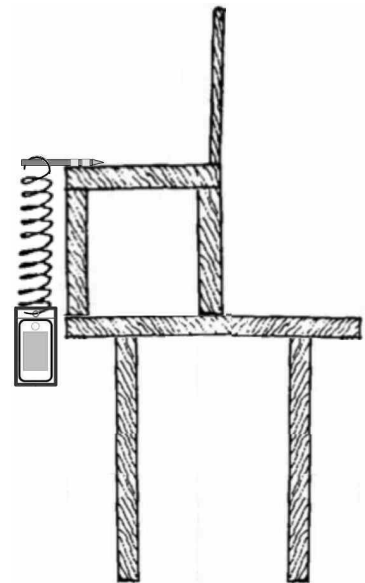
## Das Federpendel

### Materialien:

- Smartphone mit der App „SPARKvue“
- ein Tisch, ein Stuhl und eventuell Bücher o. Ä. zum Beschweren
- Stift (Kugelschreiber o. Ä.)
- Federn (kleine Feder für Versuchsteil 2)
- Klebeband
- Plastikhülle
- Waage
- Stoppuhr
- Murmeln (für Versuchsteil 2)

### Vorbereitung / Aufbau:

- **SPARKvue**: Experiment „**Federpendel**“ auswählen
- **Smartphone in der Plastikhülle** wie im Schema rechts aufhängen:
  - Stuhl auf den Tisch stellen
  - Stift mit Klebeband sorgfältig auf dem Stuhl befestigen, bei Bedarf zusätzlich mit Büchern beschweren
  - Feder an den Stift hängen und mit Klebeband fixieren
  - Plastiktütchen mit Smartphone an die Feder hängen



### Durchführung (Teil 1):

Zunächst sollen Sie den Verlauf der Schwingung Ihres Pendels qualitativ beobachten. Im zweiten Versuchsteil gehen Sie dann zu quantitativen Messungen über.

- Pendel **auslenken**, Messung **starten**, Pendel **loslassen**
- Schwingungsvorgang genau **beobachten**
- nach mindestens 10 durchlaufenen Perioden Messung **beenden**

#### Wichtiger Hinweis!

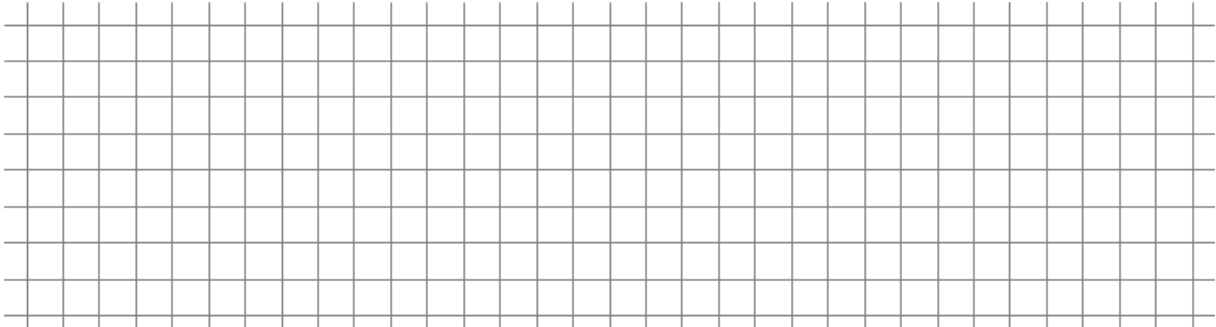
Im Experiment beobachten Sie die **Auslenkung** des Pendels, das Smartphone zeigt jedoch den Verlauf der **Beschleunigung** an. Da es sich um einen harmonischen Oszillator handelt, sind Auslenkung und Beschleunigung **proportional** zueinander, also immer nur durch einen **konstanten Faktor** voneinander verschieden. Die dargestellte Kurve zeigt daher – bis auf diesen Faktor – **qualitativ** die **Auslenkung** des Pendels als Funktion der Zeit.



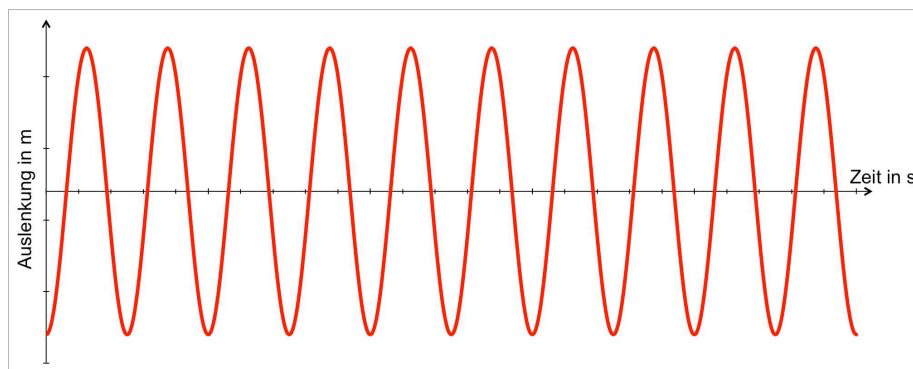
## Verlauf der Schwingung

### Beobachtung und Auswertung (Teil 1):

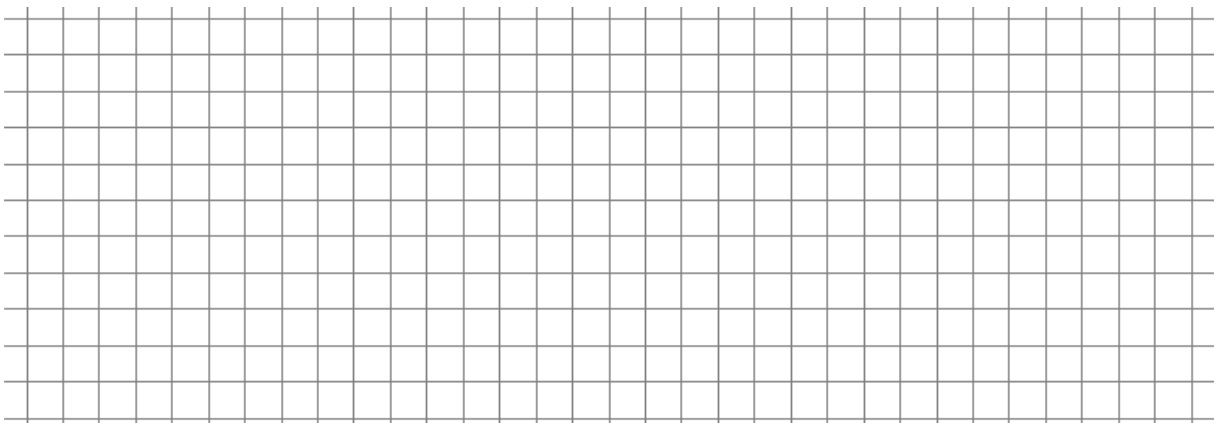
Beschreiben Sie, warum das Pendel eine Schwingung ausführt! Welche Kräfte sind die Ursache für die Bewegung? (bei Schwierigkeiten → Tipp 1)



Sie sehen in der nachstehenden Grafik den theoretisch idealen Verlauf der Auslenkung eines Federpendels, das zum Zeitpunkt  $t = 0$  s nach unten ausgelenkt wurde.



- **Markieren** Sie im obigen Diagramm:
  - die Stellen, an denen sich das Pendel an einem **Umkehrpunkt** / in der **Nulllage** befindet
  - die Länge einer **Periode**
  - **Kontrollieren** Sie Ihr Ergebnis anhand der **Musterlösung!**
- Gibt es **Unterschiede** zwischen dem angegebenen Kurvenverlauf und der im Experiment beobachtbaren Schwingung? Versuchen Sie, zusammen eine **Erklärung** für etwaige Unterschiede zu finden.





## Untersuchung der Periodendauer

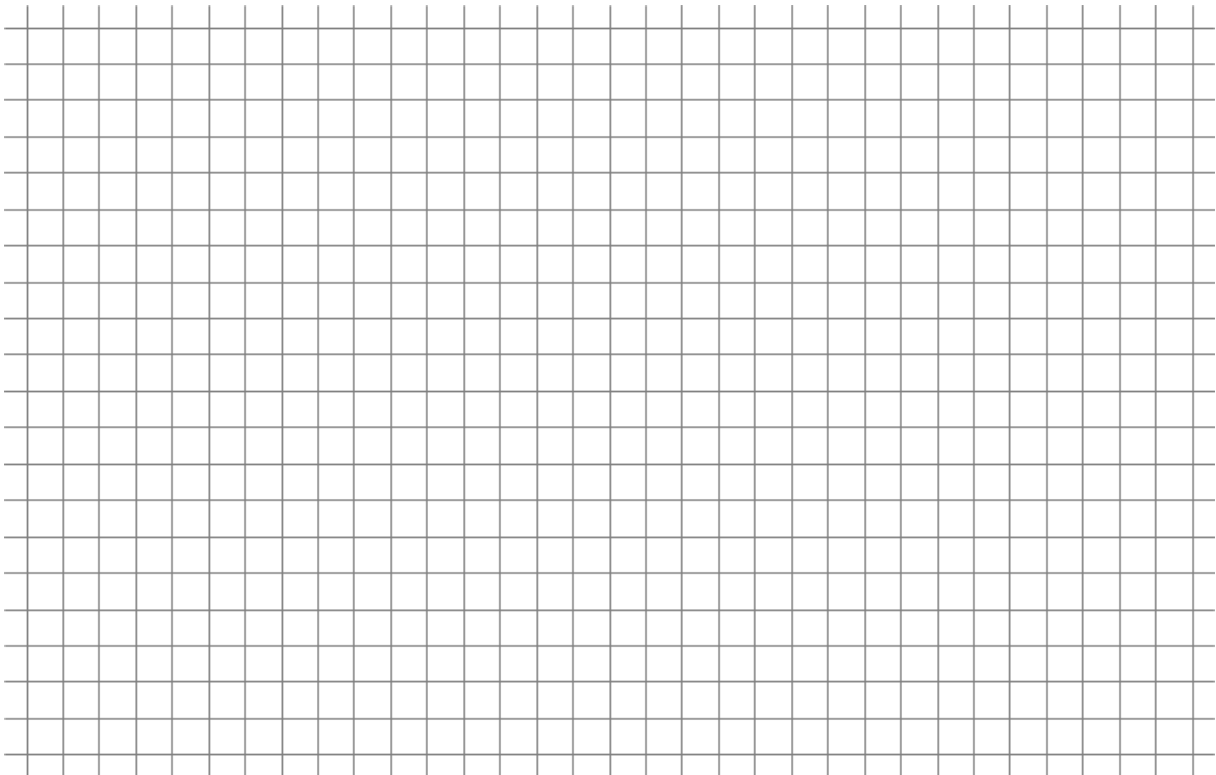
Die Formel zur Berechnung der Periodendauer eines Federpendels lautet:

$$T = 2\pi\sqrt{m/D}$$

Im zweiten Versuchsteil sollen Sie nun untersuchen, wie sich Veränderungen Ihres Aufbaus auf die Periodendauer  $T$  Ihres Pendels auswirken. Mit Hilfe der Messung dieser Periodendauer  $T$  können Sie dann die Größe der Federkonstanten  $D$  bestimmen.

### Durchführung und Auswertung (Teil 2):

- Diskutieren Sie: Welchen Einfluss auf die **Periodendauer** Ihrer Schwingung erwarten Sie bei einer Veränderung
  1. der **Auslenkung** zu Beginn der Schwingung?
  2. der **Pendelmasse**?
  3. der **Federkonstante**?
- Finden Sie gemeinsam eine **anschauliche Begründung** für Ihre Hypothesen! (bei Schwierigkeiten → Tipp 2 und 3)

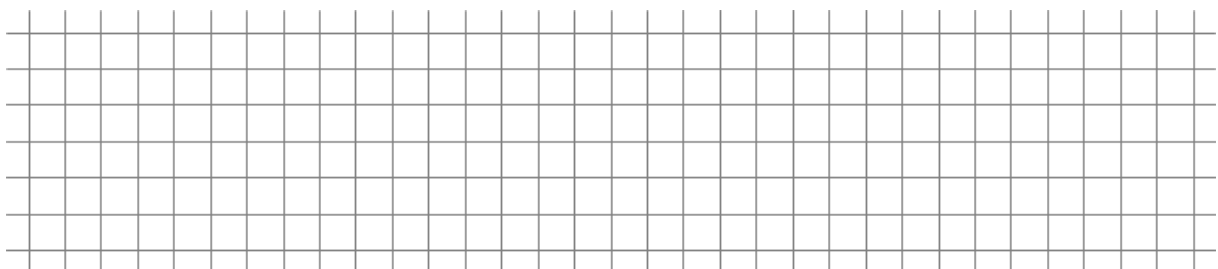


- Nehmen Sie **je drei** Schwingungen mit unterschiedlichen **Auslenkungen / Pendelmassen** und **zwei** Schwingungen mit verschiedenen **Federn** auf.
  - Stellen Sie zur besseren Vergleichbarkeit die Messungen jeweils **in einem Diagramm** dar und überprüfen Sie mit Hilfe dieser Darstellung Ihre Vermutungen qualitativ.
  - Variieren Sie die **Pendelmasse**, indem Sie **Murmeln** zum Smartphone in die Plastikhülle füllen.
  - Variieren Sie die **Federkonstante**, indem sie die große **Feder** durch die kleinere ersetzen.
- Messen Sie bei drei verschiedenen **Pendelmassen** die Dauer einer Schwingung zusätzlich mit der **Stoppuhr** und tragen Sie Pendelmasse und Periodendauer in die nachfolgende Tabelle ein!
  - **Wiegen** Sie das Smartphone mitsamt Plastikhülle und Murmeln bei jeder Messung.
  - **Stoppen** Sie für die Messung der Periodendauer die Zeit für **mehrere Periodendauern** und **teilen** Sie sie durch die Anzahl der Schwingungen.

$m$ in kg	$T$ in s

- Konnten Sie Ihre **Vermutungen** zur Auswirkung der Veränderung der Auslenkung / Pendelmasse / Federkonstante anhand der Kurven auf dem Smartphone **experimentell bestätigen**? Wenn nicht, finden Sie zusammen eine Erklärung für die **Abweichung** zwischen Ihrer Hypothese und dem Experiment! (bei Schwierigkeiten → Tipp 4)

a) Vergleich der **Periodendauern** (anhand der **Kurven**) bei versch. **Auslenkung**:





b) Vergleich der **Periodendauern** (anhand der **Kurven**) bei versch. **Pendelmassen**:

c) Vergleich der **Periodendauern** (anhand der **Kurven**) bei versch. **Federn**:

- **Bestimmen** Sie für Ihre Messungen mit verschiedenen Pendelmassen jeweils die **Federkonstante** mit Hilfe der obigen Formel und berechnen Sie den Mittelwert aller Ergebnisse!

Messung	$D$ in N/m
1	
2	
3	
<b>Mittelwert</b>	

- **Beschreiben** Sie ein Experiment, mit dem Sie die Federkonstante **auf andere Art** messen könnten, um die Genauigkeit Ihres Wertes zu überprüfen! Erscheint Ihnen Ihr ermittelter Wert für die Federkonstante realistisch?



## Aufgaben

Das auf dem Deckblatt abgebildete Holzspielzeug ( $m = 0,1 \text{ kg}$ ) hat eine Schwingungsperiode von  $T = 1,29 \text{ s}$ .

- Wie groß ist seine Federkonstante?

Sie hängen zusätzlich ein Smartphone ( $m = 0,1 \text{ kg}$ ) an die Holzfigur, um ihre Beschleunigung zu messen.

- Wie lange dauert nun eine Schwingungsperiode?

Vergleichen Sie am Ende der Versuchsdurchführung Ihre Lösungen mit der Musterlösung, bevor Sie zum nächsten Experiment übergehen!

# Experiment: Das Fadenpendel



Stellen Sie sich vor, Sie wollen ein Kind auf einer Schaukel anstoßen. Sie ziehen das Kind auf der Schaukel in die Höhe und lassen es schwingen. Wie lange dauert es, bis das Kind das nächste Mal am Startpunkt ankommt, so dass Sie es wiederum anstoßen können? Ist diese Zeit abhängig von der Schaukel? Würde das Kind auf dem Mond genauso schnell schaukeln?



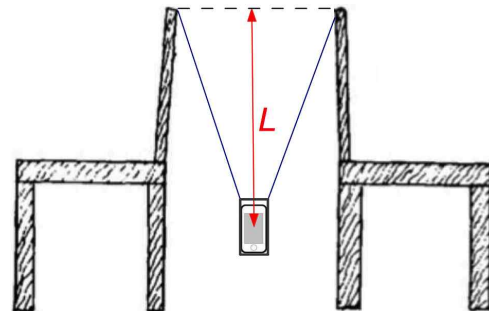
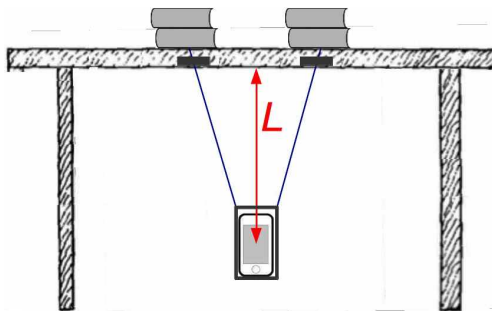
## Das Fadenpendel

### Materialien:

- Smartphone mit der App „SPARKvue“
- ein Tisch oder zwei Stühle
- evtl. Bücher o. Ä.
- Plastikhülle mit Schnüren
- Klebeband
- Schere
- Metermaß
- Stoppuhr
- Murmeln (Versuchsteil 2)
- Waage (Versuchsteil 2)

### Vorbereitung / Aufbau:

- **SPARKvue**: Experiment „**Fadenpendel**“ auswählen
- **Smartphone** wie in den Schemata gezeigt am Tisch oder den Stühlen aufhängen (Schnur oben und vorne am Tisch mit Klebeband befestigen, bei Bedarf zusätzlich mit Büchern beschweren)



### Durchführung (Teil 1):

Zunächst sollen Sie den Verlauf der Schwingung Ihres Pendels qualitativ beobachten. Im zweiten Versuchsteil gehen Sie dann zu quantitativen Messungen über.

- Pendel **schwach** auslenken, Messung **starten**, Pendel **loslassen**
- Schwingungsvorgang genau **beobachten**
- nach mindestens 15 durchlaufenen Perioden Messung **beenden**

### Wichtiger Hinweis!

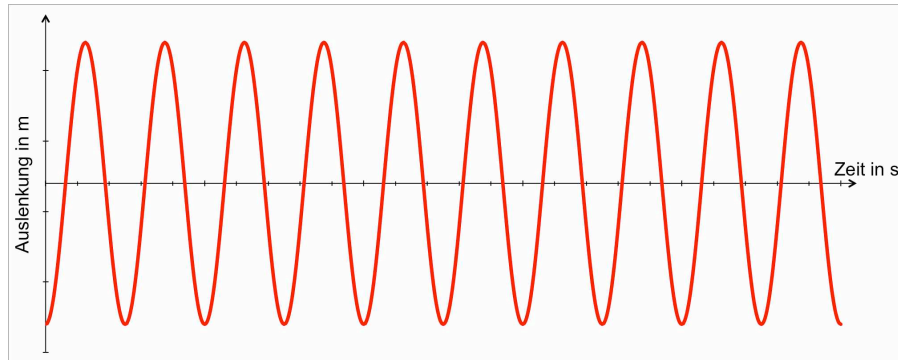
Erinnern Sie sich: Im Experiment beobachten Sie die **Auslenkung** des Pendels, das Smartphone zeigt jedoch den Verlauf der **Beschleunigung** an. Wie im ersten Arbeitsblatt erläutert, sind Auslenkung und Beschleunigung immer nur um einen **konstanten Faktor** voneinander verschieden. Die dargestellte Kurve zeigt daher – bis auf diesen Faktor – **qualitativ** die **Auslenkung** des Pendels als Funktion der Zeit.



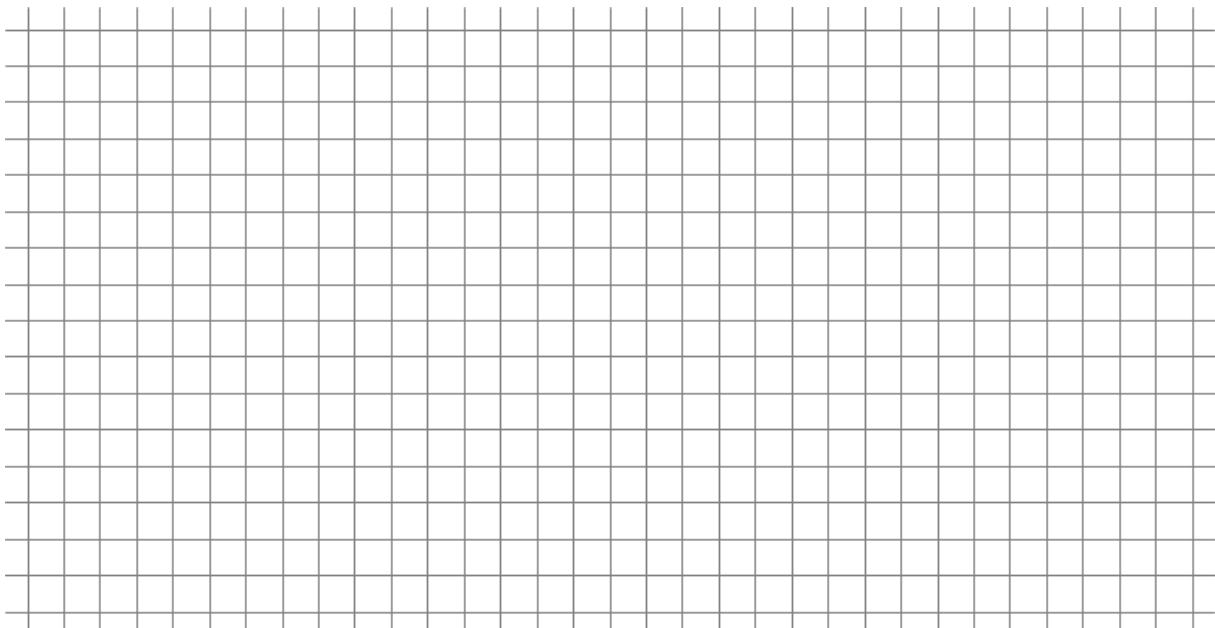
## Verlauf der Schwingung

### Beobachtung und Auswertung (Teil 1):

Sie sehen in der nachstehenden Grafik den theoretisch idealen Verlauf der Auslenkung eines zum Zeitpunkt  $t = 0$  s schwach ausgelenkten Fadenpendels.



- Gibt es **Unterschiede** zwischen dem angegebenen Kurvenverlauf und der im Experiment beobachtbaren Schwingung? Versuchen Sie, zusammen eine **Erklärung** für etwaige Unterschiede zu finden. (Denken Sie daran, dass Sie bei **SPARKvue** zoomen und die Balken am Rand ausblenden können.)





## Untersuchung der Periodendauer

Die Formel zur Berechnung der Periodendauer eines Fadenpendels lautet:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

Im zweiten Versuchsteil sollen Sie nun untersuchen, wie sich Veränderungen Ihres Aufbaus auf die Periodendauer  $T$  Ihres Pendels auswirken. Mit Hilfe der Messung dieser Periodendauer  $T$  können Sie dann die Größe der Erdbeschleunigung  $g$  bestimmen.

### Durchführung und Auswertung (Teil 2):

- Diskutieren Sie: Welchen Einfluss auf die **Periodendauer** Ihrer Schwingung erwarten Sie bei einer Veränderung
  1. der (kleinen) **Auslenkung** zu Beginn der Schwingung?
  2. der **Pendelmasse**?
  3. der **Pendellänge**?
- Finden Sie gemeinsam eine **anschauliche Begründung** für Ihre Hypothesen! (bei Schwierigkeiten → Tipp 1 und 2)

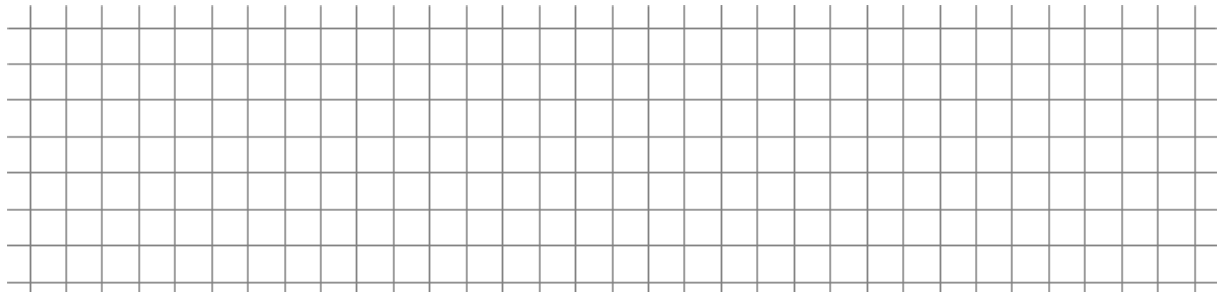


- Nehmen Sie **je drei** Schwingungen mit unterschiedlicher **Auslenkung / Pendelmasse / Pendellänge** auf.
  - Stellen Sie zur besseren Vergleichbarkeit die drei Messungen jeweils **in einem Diagramm** dar und überprüfen Sie mit Hilfe dieser Darstellung Ihre Vermutungen **qualitativ**.
  - Variieren Sie die **Pendelmasse**, indem Sie **Murmeln** zum Smartphone in die Plastikhülle füllen.
- Messen Sie bei drei verschiedenen **Pendellängen** die Dauer einer Schwingung zusätzlich mit der **Stoppuhr** und tragen Sie Pendellänge und Periodendauer in die nachfolgende Tabelle ein!
  - Messen Sie die **Pendellänge** jeweils bis zum Schwerpunkt in der Mitte des Smartphones.
  - **Stoppen** Sie für die Messung der Periodendauer die Zeit für **mehrere Periodendauern** und **teilen** Sie sie durch die Anzahl der Schwingungen.

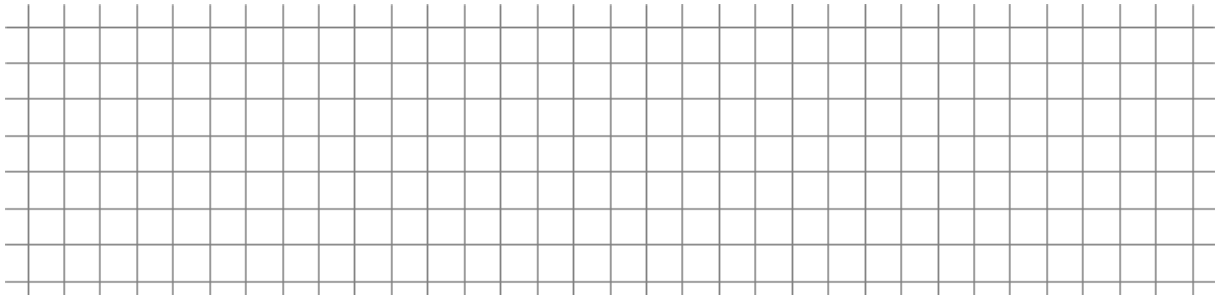
$L$ in m	$T$ in s

- Konnten Sie Ihre **Vermutungen** zur Auswirkung der Veränderung der Auslenkung / Pendelmasse / Pendellänge anhand der Kurven auf dem Smartphone **experimentell bestätigen**? Wenn nicht, finden Sie zusammen eine Erklärung für die **Abweichung** zwischen Ihrer Hypothese und dem Experiment! (bei Schwierigkeiten → Tipp 3)

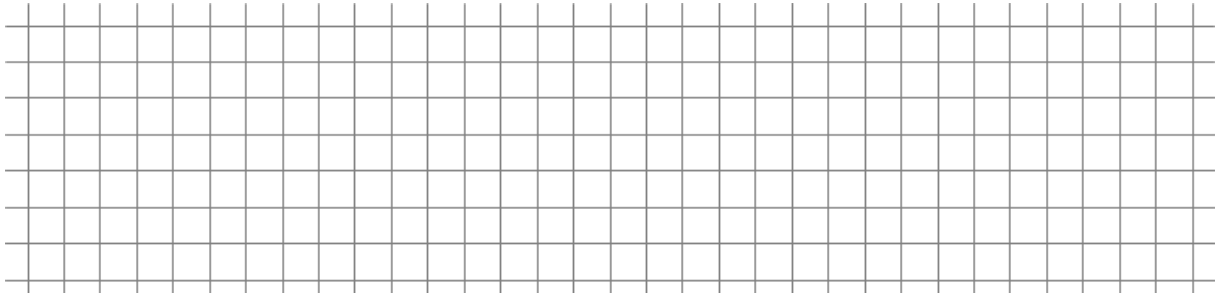
a) Vergleich der **Periodendauern** (anhand der **Kurven**) bei versch. **Auslenkung**:



b) Vergleich der **Periodendauern** (anhand der **Kurven**) bei versch. **Pendelmasse**:



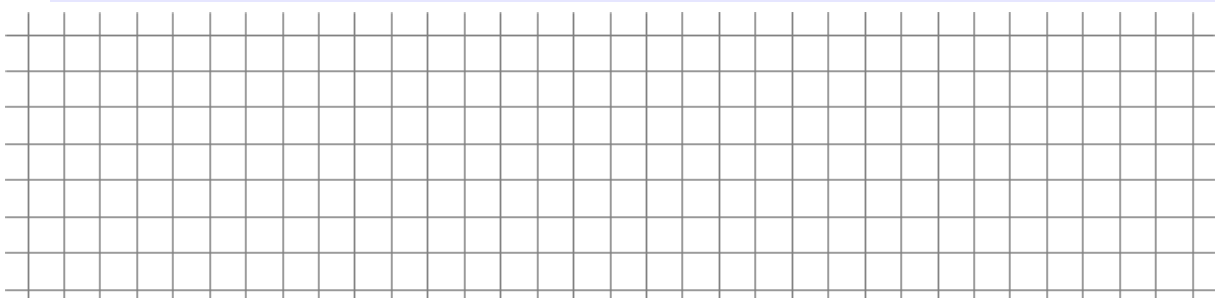
c) Vergleich der **Periodendauern** (anhand der **Kurven**) bei versch. **Pendellänge**:



- **Bestimmen** Sie für Ihre Messungen mit verschiedenen Pendellängen jeweils die **Erdbeschleunigung** mit Hilfe der Formel für die Periodendauer und berechnen Sie den Mittelwert aller Ergebnisse!

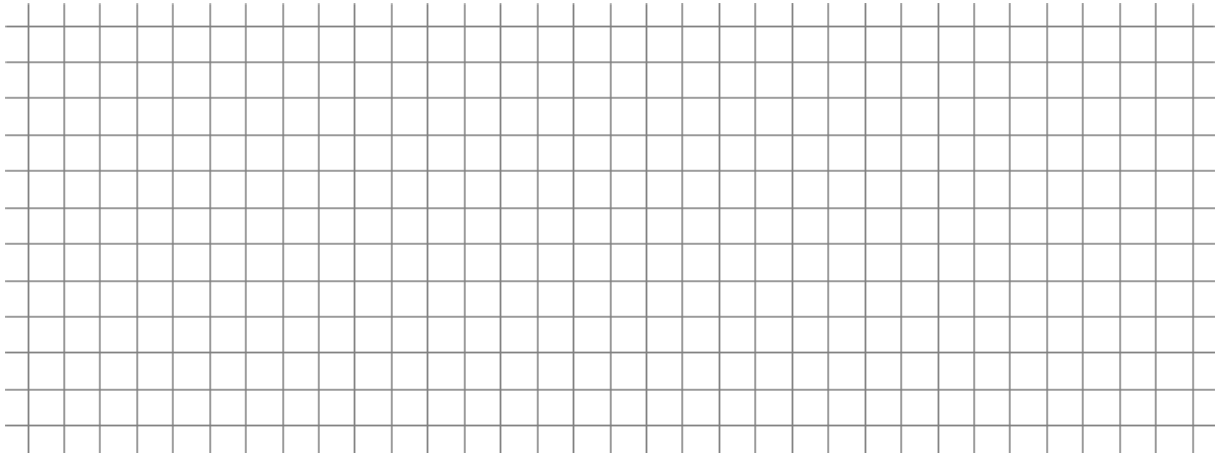
Messung	$g$ in $\text{m/s}^2$
1	
2	
3	
<b>Mittelwert</b>	

- **Beurteilen** Sie, wie gut der von Ihnen gefundene Wert für die **Erdbeschleunigung** mit dem **Literaturwert** übereinstimmt: Um wie viel Prozent weicht er von  $9,81 \text{ m/s}^2$  ab?





- Können Sie sich die **Abweichung** vom Literaturwert **erklären**? Überlegen Sie zusammen, wie man die **Genauigkeit** Ihres Ergebnisses noch **verbessern** könnte!





## Aufgaben

Zurück zu unserer Anfangsfrage: Das Nachbarskind ( $m = 15 \text{ kg}$ ) möchte mit Ihnen im Garten schaukeln. Sie setzen das Kind also auf die Schaukel (Länge der Seile:  $L = 2 \text{ m}$ ), ziehen diese in die Höhe und lassen dann los.

- Wie lange dauert es, bis das Kind zurück zum Ausgangspunkt geschwungen ist, sodass Sie es erneut anstoßen müssen?

[illegible]

Stellen Sie sich vor, sie würden mit dem Kind auf den Mond fliegen ( $g = 1,62 \text{ m/s}^2$ ), wo eine exakt gleiche Schaukel aufgebaut wäre.

- Nach welcher Zeit müssten sie das Kind nun zum ersten Mal anstoßen?

[illegible]

Sie haben eigentlich keine Lust mehr, sich um das Kind zu kümmern und würden sich lieber ein Getränk aus dem Kühlschrank holen. Dafür benötigen Sie aber 5 Minuten.

- Wie lang müssten die Seile der Schaukel sein, damit Sie rechtzeitig wieder da sein könnten, um die Schaukel anzustoßen?

A blank grid of graph paper consisting of 20 columns and 6 rows of squares. The grid is used for drawing or writing answers.

Vergleichen Sie am Ende der Versuchsdurchführung Ihre Lösungen mit der Musterlösung, bevor Sie zum nächsten Experiment übergehen!

# Experiment: Gekoppelte Pendel



Der berühmte Physiker Christian Huygens beobachtete einst, dass zwei gleiche Pendeluhrn, die auf einem Schiff am selben Balken aufgehängt waren, nicht nur im Rahmen ihrer Genauigkeit gleich gingen, sondern exakt gleich. Störte man diese Übereinstimmung absichtlich, so synchronisierten sich die Uhren nach kurzer Zeit von selbst wieder. Verantwortlich für diese Übertragung ist die Kopplung von Schwingungen, die im folgenden Experiment genauer untersucht werden soll.



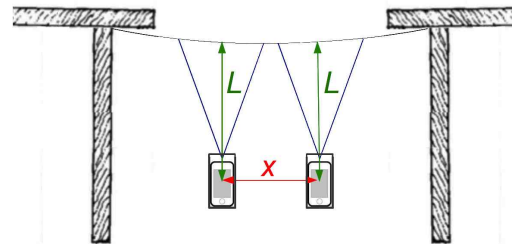
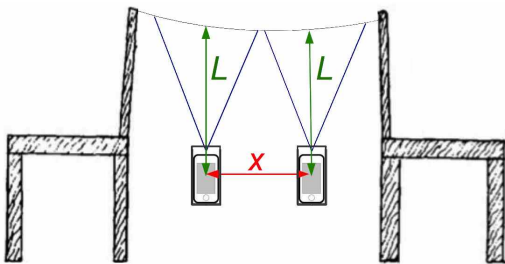
## Gekoppelte Fadenpendel

### Materialien:

- zwei Smartphones mit der App „SPARKvue“
- zwei Stühle oder Tische
- zwei Plastikhüllen mit Aufhängungen
- Stoppuhr
- Schnur
- Klebeband
- Metermaß

### Vorbereitung / Aufbau:

- **SPARKvue**: Experiment „gekoppelte Pendel“ auswählen
- **Smartphones** wie im Schema gezeigt zwischen den beiden Stühlen oder Tischen **aufhängen**:
  - **Schnur** um die Stuhllehnen oder Tischbeine kneten, mit Klebeband fixieren
  - Plastikhüllen als Pendel an der Schnur befestigen (Sicherheitsnadeln durch die Schnur stechen), beide Pendel sollten die **gleiche Länge  $L$**  haben
  - die Schnur sollte **nicht allzu straff** gespannt sein



### Durchführung (Teil 1):

Zunächst sollen Sie beobachten, was passiert, wenn eines der beiden Pendel in Schwingung versetzt wird.

- Messung auf beiden Geräten möglichst gleichzeitig **starten**
- **eines** der Pendel sanft und vorsichtig in Schwingung versetzen
- Schwingungsvorgang genau **beobachten**
- Messung **beenden**, nachdem die Energie mindestens 5 Mal von einem aufs andere Pendel übertragen wurde

### Wichtiger Hinweis!

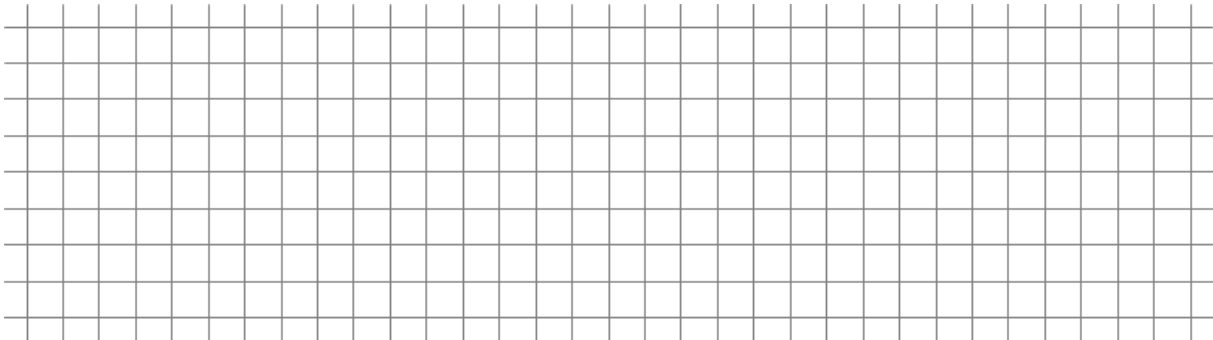
Erinnern Sie sich: Im Experiment beobachten Sie die **Auslenkung** des Pendels, das Smartphone zeigt jedoch den Verlauf der **Beschleunigung** an. Wie im ersten Arbeitsblatt erläutert, sind Auslenkung und Beschleunigung immer nur um einen **konstanten Faktor** voneinander verschieden. Die dargestellte Kurve zeigt daher – bis auf diesen Faktor – **qualitativ** die **Auslenkung** des Pendels als Funktion der Zeit.



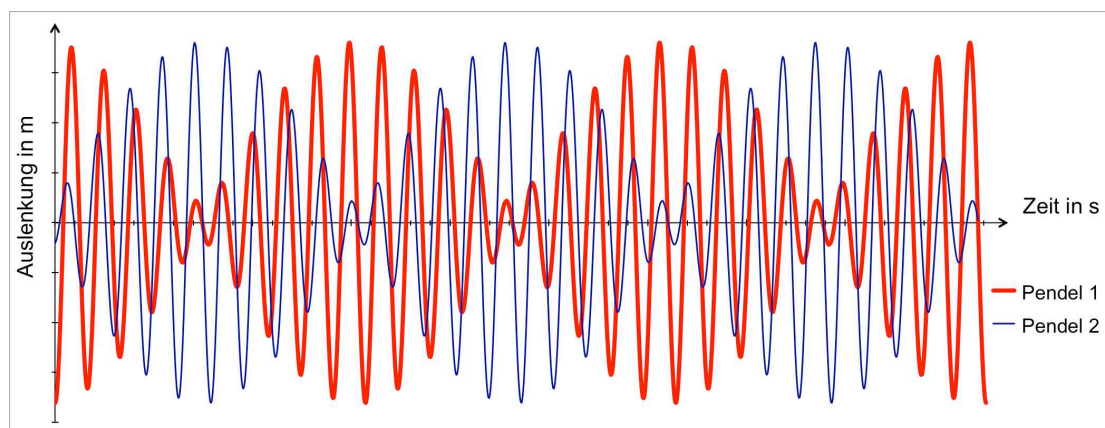
## Verlauf der Schwingung

### Beobachtung und Auswertung (Teil 1):

- **Beschreiben** Sie Ihre Beobachtung!

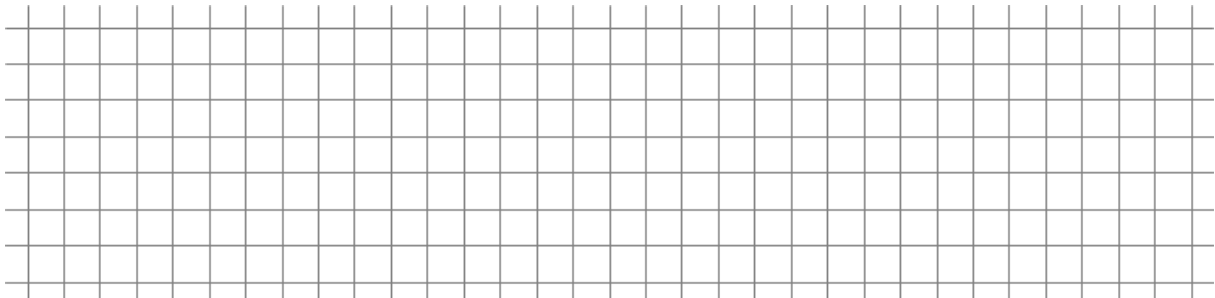


Als **gekoppelte Pendel** bezeichnet man Pendel, zwischen denen über eine Verbindung, die sogenannte **Kopplung**, Energie ausgetauscht werden kann. Auf jedes der Pendel wirkt dabei außer der Rückstellkraft eine zusätzliche, durch die Kopplung verursachte Kraft. Im hier durchgeführten Experiment ist diese dafür verantwortlich, dass die gesamte **Bewegungsenergie** eines Pendels auf das andere **übertragen** wird, so dass das erstere stehen bleibt. Anschließend kehrt sich der Vorgang um (die Bewegungsenergie wird wieder aufs erste Pendel übertragen) und wiederholt sich dann theoretisch endlos lange. In der Grafik unten ist der theoretisch ideale Verlauf der Auslenkung zweier gekoppelter Pendel aufgetragen.

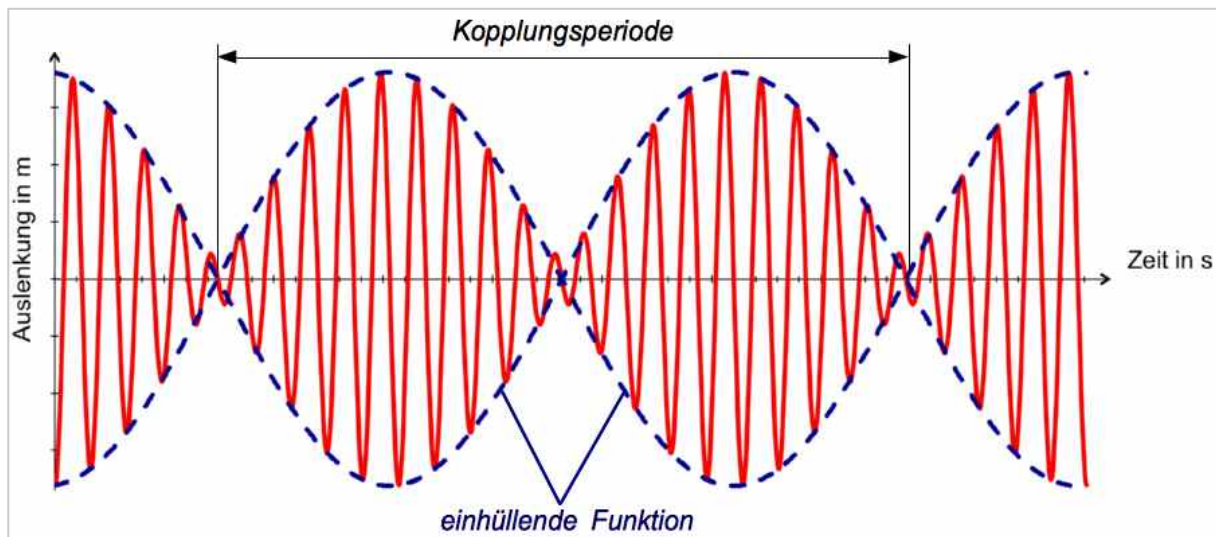


- **Markieren** Sie im obigen Diagramm:
  - die Stellen, an denen **Pendel 1 still steht**
  - die Stellen, an denen **Pendel 2** seine gesamte **Energie** zurück an **Pendel 1 übertragen** hat

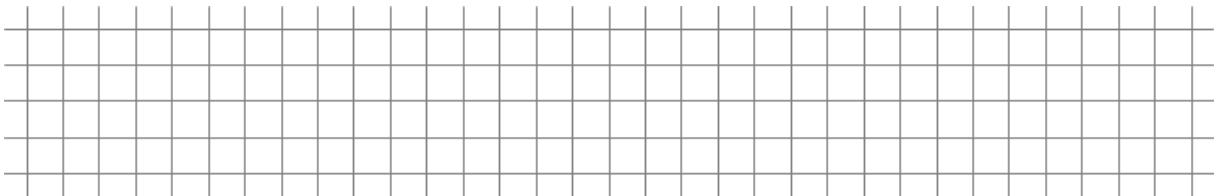
- Gibt es **Unterschiede** zwischen dem Verlauf der Schwingung in Ihrem Versuch und dem angegebenen Kurvenverlauf? Versuchen Sie, zusammen eine **Erklärung** für etwaige Unterschiede zu finden.



Die Energieübertragung zwischen den beiden Pendeln lässt sich mit Hilfe einer sogenannten **einhiillenden Funktion** beschreiben. Die Periodendauer dieser einhiillenden Funktion wird **Kopplungsperiode**  $T_K$  genannt.



- Wie oft** wird während einer Kopplungsperiode die gesamte **Energie** von Pendel 1 auf Pendel 2 **übertragen**?



- Bestimmen** Sie die **Kopplungsperiode** Ihrer gekoppelten Pendel mit der Stoppuhr.  $T_K = \underline{\hspace{2cm}}$
- Prüfen** Sie, ob der bestimmte Wert für die Kopplungsperiode mit der beobachteten Schwingung **übereinstimmt**.



## Stärke der Kopplung

## Durchführung und Auswertung (Teil 2):

Die Kopplungsperiode ist abhängig von der **Stärke der Kopplung**: Je stärker zwei Pendel gekoppelt sind, desto schneller wird die Energie zwischen Ihnen übertragen, desto kleiner ist also die Kopplungsperiode. In unserem Versuch kann die Kopplungsstärke verändert werden, indem man den **Abstand** zwischen den beiden Pendeln variiert oder die Schnur, an der sie aufgehängt sind, unterschiedlich stark spannt.

- Führen Sie den Versuch wie oben beschrieben noch je drei Mal mit verschiedenen **Pendelabständen  $x$**  und verschieden stark **gespannter** Schnur durch. Stellen Sie zur besseren Vergleichbarkeit die Messungen jeweils **in einem Diagramm** dar und messen Sie die Kopplungsperiode außerdem mit der Stoppuhr.
- Tragen Sie Ihre Messwerte in die nachfolgenden **Tabellen** ein!

$x$ in m	$T_K$ in s

<i>Spannung der Schnur</i>	$T_K$ in s
schwach	
mittel	
stark	

- Formulieren Sie den Zusammenhang zwischen der Kopplungsstärke und dem **Abstand** der Pendel in einer **je-desto-Beziehung**!

[illegible]

- Formulieren Sie den Zusammenhang zwischen der Kopplungsstärke und der **Spannung** der Schnur in einer **je-desto-Beziehung**!